

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA STROJNÍ  
KATEDRA ENERGETIKY

**Návrh ekologizace kotle na spalování zbytků VADS Nový Bohumín**

**Environmental Design of Boiler Combusting Remnants VADS Nový  
Bohumín**

Student: Bc. Václav Honzátka

Vedoucí diplomové práce: Ing. Bohumír Čech, Ph.D

Ostrava 2011

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou práci včetně všech příloh vypracoval samostatně.

V Ostravě dne 13.5.2011



Bc. Václav Honzátka

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě :13.5.2011

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Václav Honzátko

Adresa trvalého pobytu autora práce: Bohumín 3, Mládežnická 644

## **ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE**

HONZÁTKO V.; Návrh ekologizace kotle na spalování zbytků VADS Bohumín. Energetické stroje a zařízení Ostrava; Katedra energetiky; Fakulta strojní; VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, 65 stran, 5 příloh, vedoucí Diplomové práce ČECH B.

Diplomová práce se zabývá ekologizací kotle na spalování zbytků ropných odpadů vznikajících při čištění železničních cisteren. Popisuje historii a technologii čištění cisteren v akciové společnosti Vypařovací a desinfekční stanice Bohumín. Pozornost je věnována kotelně spalující Olejové palivo VADS, vyráběné z ropných odpadů, vznikajících při čištění cisteren.

Na základě poznatků z provozování kotleny, jsou navrženy doplňující technologie vedoucí k ekonomizaci a ekologizaci kotleny.

## **ANNOTATION OF THESIS**

HONZATKO V.; Proposal greening boiler combustion residues Bohumin VADS. Power equipment Ostrava, Department of Energy, Faculty of Mechanical Engineering, VSB - Technical University of Ostrava, 2011, 65 pages, 5 appendices, Supervisor CZECH B.

This thesis deals with greening the boiler burning oil debris waste resulting from cleaning railroad tank cars. It describes the history and technology in stock tank cleaning and disinfection of Evaporating Station Bohumin. Attention is paid to oil-burning boiler VADS fuel produced from waste oil, due to the cleaning tank. Based on the findings from the operation of the boiler room are complementary technologies designed to lead to economizing and greening of the boiler room.

## Obsah:

Úvod .....	11
<b>1 Popis stávajícího zařízení a kotlů pro spalování kapalných paliv .....</b>	<b>13</b>
1.1 Technologie pro výrobu páry .....	13
1.2 Technické parametry instalovaných zařízení .....	13
1.2.1 Kotel .....	13
1.2.2 Hořák .....	15
1.3 Palivo .....	16
1.3.1 Příprava paliva .....	16
1.3.2 Využívání odpadu za účelem výroby paliva pro kotelnu VADS .....	16
1.3.3 Výroba Topného oleje VADS .....	17
1.3.4 Expedice paliva .....	18
1.3.5 Měření spotřeby paliva .....	19
1.4 Emisní limity .....	19
1.5 Popis technologických operací .....	20
1.5.1 Manipulace s palivem .....	20
1.5.2 Hoření paliva .....	20
1.5.3 Způsob řízení spalovacího procesu .....	20
1.5.4 Podmínky provozu zařízení pro omezování znečišťujících látek .....	21
1.6 Výstupy z technologie .....	22
1.6.1 Pára .....	22
1.6.2 Popílek .....	22
1.6.3 Zařízení pro kontinuální měření emisí .....	22
<b>2 Výpočet účinnosti kotle a spotřeby paliva .....</b>	<b>23</b>
2.1 Výpočet účinnosti kotle .....	24
2.1.1 Metoda přímá .....	24
2.1.2 Metoda nepřímá .....	25
2.2 Výpočet spotřeby paliva .....	26
<b>3 Návrh úprav zařízení pro snížení teploty spalin .....</b>	<b>27</b>
3.1 Výpočet výstupních hodnot spalin .....	27
3.1.1 Rozbor paliva .....	27
3.1.2 Stanovení množství spalovacího vzduchu .....	27
3.1.3 Stanovení množství spalin .....	29
3.1.4 Procentuelní zastoupení složek ve spalinách .....	30
3.1.5 Celkové množství vlhkých spalin pro daný výkon kotelný .....	30
3.1.7 Střední teplota proudu spalin ve výměníku .....	31
3.1.8 Střední měrná tepelná kapacita spalin .....	31
3.1.9 Měrná hustota spalin .....	32
3.1.10 Hmotnostní tok spalin .....	33
3.2 Návrh spalinového výměníku .....	33

3.2.1 Bilanční rovnice pro spalínový výměník .....	33
3.2.2 Stanovení tepla přivedeného ve spalínách .....	34
3.2.3 Stanovení množství vody protékající výměníkem z bilanční rovnice .....	35
3.2.4 Výpočet teplosměnné plochy .....	36
3.2.5 Návrh rozměrů spalínového výměníku z vypočtených hodnot .....	40
<b>4 Návrh zařízení pro čištění spalin .....</b>	<b>41</b>
4.1 Popis činnosti elektrostatického odlučovače .....	42
4.2 Elektrostatický odlučovač .....	44
4.2.1 Stanovení množství spalin .....	44
4.2.2 Výpočet množství spalin efektivních .....	45
4.2.3 Celkové množství vlhkých spalin na výstupu spalínového výměníku .....	46
4.3 Návrh elektrostatického odlučovače .....	46
4.3.1 Výpočet průřezu elektrofiltru .....	46
4.3.2 Výpočet rozměrů skříně dvousekcvého elektrofiltru .....	47
4.3.3 Oklepávací zařízení usměrňovače .....	47
4.3.4 Elektrody .....	47
4.3.5 Vstupní a výstupní části elektrofiltru .....	47
4.3.6 VVN zdroj pro napájení elektrostatického odlučovače .....	49
<b>5 Návrh spalínového ventilátoru .....</b>	<b>51</b>
5.1 Výpočet průměru potrubí odcházejících spalin z elektrostatického odlučovače ..	51
5.2 Výpočet tlakové ztráty spalínového traktu .....	52
5.2.1 Výpočet tlakové ztráty v potrubí do spalovacího výměníku .....	52
5.2.2 Výpočet tlakové ztráty ve spalínovém výměníku .....	53
5.2.3 Výpočet tlakové ztráty v potrubí výměníku - odlučovač .....	54
5.2.4 Výpočet tlakové ztráty elektrostatického odlučovače .....	56
5.2.5 Výpočet tlakové ztráty v potrubí z elektrostatického odlučovače do komína ..	57
5.2.6 Výpočet tlakové ztráty komína .....	58
5.3 Výběr spalínového ventilátoru .....	59
<b>6 Technické a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav .....</b>	<b>60</b>
6.1 Výpočet komínové ztráty pro teplotu spalin 250°C .....	61
6.2 Výpočet komínové ztráty pro teplotu spalin 150°C .....	62
6.3 Výpočet množství ohřáté vody (95°C) za rok provozu .....	63
6.4 Výpočet množství odloučeného popílku .....	64
6.4.1 Výpočet množství popílku na vstupu do filtru .....	65
6.4.2 Výpočet množství zachyceného popílku v elektrofiltru .....	65
6.4.3 Výpočet kapacity kontejneru na odloučený popílek .....	66
<b>Závěr .....</b>	<b>67</b>
<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>68</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>69</b>

## PŘEHLED POUŽITÝCH OZNAČENÍ A INDEXŮ

Symbol	Jednotka	Veličina
C	h	kapacita
D	m	vnější průměr
I	J.h <sup>-1</sup>	entalpie
K	-	koeficient závislý na vlastnostech kapaliny
K <sub>1-4</sub>	-	koeficient závislý na druhu paliva
L	m	délka
<u>L</u>	m	charakteristický rozměr
Nu	-	Nusseltovo číslo
Pr	-	Prandtlovo číslo
Q	W	tepelný tok
Q <sub>pal</sub>	MJ.kg <sup>-1</sup>	výhřevnost paliva
P <sub>p</sub>	kW	výkon hořáku
P <sub>v</sub>	kW	výkon kotle
Re	-	Reynoldsovo číslo
S	m <sup>2</sup>	plocha
T	K	teplota absolutní
V	m <sup>3</sup>	objem
$\dot{V}$	m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup>	objemový tok

Symbol	Jednotka	Veličina
$a$	$\text{m.s}^{-1}$	zrychlení
$c$	-	konstanta
$c_p$	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$	měrná tepelná kapacita
$c'_p$	$\text{J.kg}^{-3}.\text{K}^{-1}$	měrná tepelná kapacita
$d$	$\text{m}$	průměr
$dt$	$^{\circ}\text{C}$	rozdíl teplot
$k$	-	konstanta
$m$	$\text{kg}$	hmotnost
$\dot{m}$	$\text{kg.s}^{-1}$	hmotnostní tok
$\dot{m}_0$	$\text{kg.s}^{-1}$	spotřeba paliva
$\dot{m}_{pal}$	$\text{kg.h}^{-1}$	množství paliva
$n$	-	přebytek vzduchu
$p$	$\text{Pa}$	tlak
$r$	$\text{m}$	poloměr
$t$	$^{\circ}\text{C}$	teplota
$w$	$\text{m.s}^{-1}$	rychlost
$w$	%	obsah vody



Symbol	Jednotka	Veličina
$\alpha$	$\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$	součinitel přestupu tepla
$\varepsilon_L$	-	opravný součinitel pro krátké hady
$\varepsilon_R$	-	opravný součinitel pro proudění tekutiny v hadech
$\varepsilon_T$	-	opravný součinitel pro neizotermické proudění kapalin
$\eta$	-	účinnost
$\varphi$	-	relativní vlhkost vzduchu
$\lambda$	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	součinitel tepelné vodivosti
$\nu$	$\text{m}^2.\text{s}^{-1}$	kinematická viskozita
$\xi$	-	součinitel místních ztrát
$\rho$	$\text{kg.m}^{-3}$	hustota
$\tau$	s	časový krok
$\omega$	-	objemová koncentrace

### Horní indexy

S	suchý
V	vlhký
*	odhadnutá hodnota

## **Dolní indexy**

F	filtr
K1	kotel 1
K2	kotel 2
N	normální podmínky
PH	provozní hodiny
ST	střední
ZT	ztráta

celk	celkový
ef	efektivní
chlv	chladící voda
i	i-tá složka
kon	kontejner
m	místní
max	maximální
min	minimální
odl	odloučený
ochl	ochlazení
p	popel
skut	skutečný
sp	spaliny
teor	teoretický
vst	na vstupu
výst	na výstupu
vyp	vypařování
vz	vzduch

## Úvod

Ve své diplomové práci bych se chtěl věnovat tématu, který mě vzhledem k mému pracovnímu zařazení na technickém úseku Střediska oprav kolejových vozidel Ostrava zajímá. Jedná se nejen o likvidaci vyjetých olejů z lokomotiv, ale i o likvidaci ostatních ropných odpadů, které vznikají při přípravě nákladních vozů k dalšímu provozu na Českých drahách a.s. Zde jde hlavně o proces čištění železničních cisteren, které jsou určeny k převozu různých materiálů, vždy před změnou převáženého substrátu, nebo před jiným technickým zásahem, kdy je vyžadováno, aby byla cisterna vyčištěna.

K tomuto procesu je třeba vlastnit nejen špičkovou technologii čistírny, ale i technologii určenou k likvidaci vzniklých odpadů z provozu Čištění.

Čištění železničních cisteren má v našem regionu 40letou tradici. V sedmdesátých letech minulého století byla vybudována v Bohumíně Vypařovací a desinfekční stanice jako součást státního podniku Československých státních drah. Tato byla situována do průmyslové části města Bohumína. V areálu byla postavena kotelna na tuhá paliva, provozní část čištění a ČOV. Protože kotelna nesplňovala stanované emisní limity a její rekonstrukce z finančních technologických důvodů nepřípadala v úvahu, byl její provoz v roce 1994 zastaven. Kotelna byla zlikvidována a v roce 2007 byl stržen její 75-ti metrový komín.

Pára k čištění a vytápění začala být odebírána ze sousedních Železáren a drátoven Bohumín. V roce 1996 proběhla privatizace a vznikla společnost VADS spol. s r.o., která využívá stávající prostory a technologie, které jsou soustavně modernizovány. Nedílnou součástí modernizace je i zdokonalování technologie čištění cisteren železničních vozů se zaváděním nových technologií, které jsou šetrné zvláště k životnímu prostředí.

V roce 2006 se stala firma akciovou společností. VADS, a.s. v Bohumíně se v současnosti zabývá pronájmy železničních vozů, čištěním železničních cisternových vozů, automobilových cisteren, čištěním mobilních a stabilních nádrží, čištěním zaolejovaných vod a likvidací odpadů.

Společnost využila skutečnosti, že v rámci její výše uvedené činnosti vzniká ropný odpad, který se dá dále po určitých úpravách využívat jako palivo, toto spalovat

ve vlastní kotelně na tekutá paliva, a vyrábět páru pro provoz „Čištění cisteren“, vytápět prostory podniku a krýt spotřebu TUV.

Po dobu provozu zařízení byly zjišťovány nedostatky a rezervy v provozování kotelny. V podstatě se jedná o zvýšení účinnosti provozu kotelny, kdy měřením teploty spalin vystupujících z komína kotelny, jsou měřeny teploty cca 250°C. Dalším nedostatkem je plnění emisních limitů kotelny. Nejvíce jsou překračovány hodnoty prachu ve spalinách. Toto by se dalo odstranit kvalitnějším palivem, ale vzhledem k možnostem výroby paliva a používaných komponentů se kvalita paliva často pohybuje v mezních hodnotách.

Z těchto důvodů jsem přikročil k vyhotovení návrhů, které by pomohly tyto problémy s provozováním kotelny VaDS a.s. vyřešit a tím přispět k lepšímu využívání energetických zdrojů a jejich dopadu na životní prostředí.

# 1 Popis stávajícího zařízení a kotlů pro spalování kapalných paliv

## 1.1 Technologie pro výrobu páry

Kotelna je určena pro výrobu páry na čištění cisternových vozů, kontejnerů a automobilových cisteren, pro ohřev nádrží, pro ohřev technologické vody na čištění cisternových vozů, kontejnerů, automobilových cisteren a pro ohřev topné vody ústředního vytápění sociální budovy a ChČOV.

Z řady různých nabídek bylo vybráno technické zařízení výrobce Viessmann, které v největší míře vyhovuje podmínkám provozu a nároků VADS a.s. na jeho využití, dosahovaných parametrů a technických hodnot. Toto zařízení plně vyhovuje spalování paliva vyráběného VADS a.s. z odloučených ropných látek z provozu Čištění.

## 1.2 Technické parametry instalovaných zařízení

### 1.2.1 Kotel

V kotelně jsou instalovány dva kotle Vitomax 200 HS s ekonomizérem.

**Obrázek 1: Kotel Vitomax 200 HS s ekem**

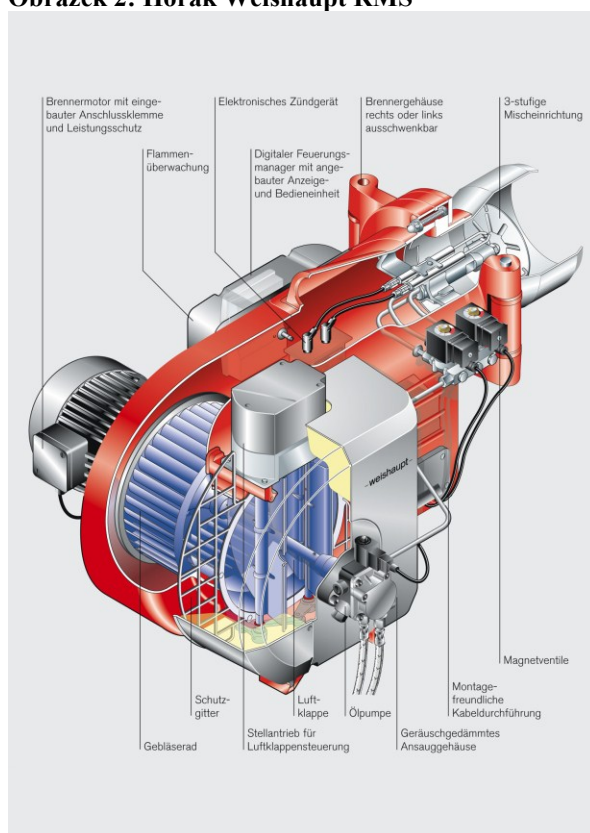


**Tabulka 1: Technické parametry instalovaných kotlů**

Typ kotle:	Vitomax 200 HS, výrobce Viessmann
Kotel K1	výrobní číslo 187005265
Kotel K2	výrobní číslo 187005264
Jmenovitý výkon kotle	5 t/h
Jmenovitý výkon kotle	3 300 kW
Požadovaný výkon kotle s ekem	5,8 t/h
Požadovaný výkon kotle s ekem	3 830 kW
Výkon hořáku pro požadovaný výkon s ekem	4 050 kW
Výkon eka při požadovaném výkonu	217 kW
Konstrukční přetlak (maximální provozní přetlak)	0,8 MPa
Maximální trvalý provozní přetlak	0,72 MPa
Zkušební přetlak	1,48 MPa
Nastavení pojistného ventilu	0,75 MPa
Obsah vody-kotel (po minimum)	11,6 m <sup>3</sup>
Parní objem	2,4 m <sup>3</sup>
Odpor na straně spalín při jmenovitém výkonu	0,9MPa
Odpor kotle na straně spalín s ekem při požadovaném výkonu	0,14 kPa
Hmotnost kotle bez vody	12 t
Celková délka	5 250 mm
Celková šířka	2 680 mm
Celková výška (jen kotel bez eka)	3 080 mm
Přetlak v kouřovodu na hr. dodávky Viessmann	0,0 Pa
Účinnost kotle s ekem při požadovaném výkonu	94,5 %

## 1.2.2 Hořák

Obrázek 2: Hořák Weishaupt RMS



Tabulka 2: Technické parametry instalovaných hořáků

Monoblokový modulační	Weishaupt Typ RMS 50/2-A ZM
Palivo	Topný olej VADS
Viskozita TO	30,0 mm <sup>2</sup> /s
Vstupní tlak oleje	0,05 – 0,5 MPa
Regulace výkonu	plynulá
Jmenovitý výkon motoru ventilátoru	13,5 kW
Proud motoru ventilátoru při 3 x 230/400 V	26 A
Jištění motoru ventilátoru (3 x)	50 A
Výkon ohříváče oleje	22 kW
Minimální výkon hořáku (poměr k max požadovanému výkonu)	40 %

### 1.3 Palivo

Kapalným palivem je výrobek VADS, a.s., Bohumín.

Certifikát a specifikace paliva viz: Příloha č. 4

#### 1.3.1 Příprava paliva

Nakládání s nebezpečnými odpady (rovněž i příprava paliva pro středotlakou parní kotelnu VADS) se řídí ustanoveními Provozní směrnice – Provozním řádem – Zařízení pro nakládání s nebezpečnými odpady. Viz: Příloha č. 2a, 2b, 2c, 2d,

#### 1.3.2 Využívání odpadu za účelem výroby paliva pro kotelnu VADS

##### Popis vstupujících odpadů – odpadních olejů

Jedná se o odpady vznikající v provozu VADS, a.s. při čištění železničních a automobilových cisteren (zbytky substrátů v cisternách) a o vhodné odpady, vzniklé úpravou odpadu za účelem jeho předání k dalšímu využití.

##### Technologický postup výroby

Technologie výroby je založena na možnosti míchání různých odpadních olejů a s oleji mísitelných odpadů pro dosažení požadovaných vlastností konečného produktu (zejména viskozity a bodu vzplanutí), na odstranění přebytečné vody a mechanických nečistot.

##### Stočení

Vlastní odpadní olej:

Cisterny budou čištěny na koleji K6 a odpadní vody s odpadními oleji budou soustředovány v odlučovači olejů M1 tak, aby nedocházelo k míšení jiných nevhodných odpadů. Zbytky substrátů, které nesplňují požadovaná kritéria, musí být stočeny mimo technologii čištění cisteren a dále s nimi bude nakládáno jako s odpady.



### Odpad

Zbytky substrátů v cisternách se soustředí do gravitačního odlučovače olejů. V odlučovači olejů dojde k sedimentaci většiny mechanických nečistot a oddělení olejových poddílů do olejové jímky čerpací stanice IV. Strojník odebere vzorek. Vzorek označí příslušným identifikačním číslem a odnese na rozbor do chemické laboratoře. V chemické laboratoři u vzorku stanoví (je-li to požadováno):

- obsah vody v oleji
- viskozitu
- bod vzplanutí
- obsah chloru orientačně
- dle potřeby další údaje

Na základě výsledku rozboru technolog stanoví, zda bude odpad použit pro výrobu Topného oleje VADS, nebo jen pro úpravu odpadu 13 05 06, a kam bude v tomto případě odpad přečerpán. Odpad pro výrobu Topného oleje VADS je pak vyčerpáván z olejové jímky vzduchovým membránovým čerpadlem nebo sacím vozem. Množství odpadu je určeno na základě odečtu ze stavoznaku na automobilové cisterně, popřípadě stavoznaku na nádrži, do které je odpad čerpán.

### Upravený odpad

Upravený odpad, určený pro výrobu Topného oleje VADS, je stočen do nádrže T1b. Před samotným stočením se odsaje sacím vozem již v cisterně odsazená voda, která se vypustí do gravitačního odlučovače olejů.

### **1.3.3 Výroba Topného oleje VADS**

Obsah nádrže T1b se prohřeje parou přes topné hady nádrže. Na základě rozboru, nebo rozborů pro jednotlivé dodávky (dochází-li k mísení), se stanoví délka ohřevu pro požadované odloučení vody. Zároveň tím dochází k další separaci mechanických nečistot. Po odvodnění nádrže se obsah přečerpá čerpadlem a přes sadu filtrů – filtr

hrubý, střední a filtr jemný – do nádrže T1a. V této nádrži se pokračuje v ohřevu, odvodňování, průběžně se sledují kvalitativní parametry. Následně se ohřev ukončí a olej se nechá odsadit.

Po naplnění nádrže T1a požadovaným množstvím po dostatečné technologické prodlevě na odsazení velmi jemných částic se odebere vzorek obsahu nádrže T1a pro konečný rozbor, jehož hodnoty musí splňovat údaje dle ČSN 65 6691. Energetická náročnost – 1 až 1,5 GJ vodní páry na 1 t přijatých odpadních olejů.

**Tabulka 3: Množství vznikajících odpadů a odpadní vody v %**

odpadní voda	do 40-ti % hmotnosti vstupního odpadu
odpady, obsahující ropné látky, úsady v nádržích	do 0,5-ti % hmotnosti vstupního odpadu
odfiltrované mechanické nečistoty s vysokým podílem ropných látek	do 0,5-ti % hmotnosti vstupního odpadu

- Průměrný hmotnostní podíl odpadů vystupujících ze zařízení včetně hmotnostního toku emisí do ovzduší a objemu vypouštěných odpadních vod ve vztahu k hmotnosti přijímaných odpadů činí 0,1 – 0,5.
- Průměrný hmotnostní podíl výrobku vystupujícího ze zařízení ve vztahu k hmotnosti přijímaných odpadů činí 0,5 – 0,9.

#### **1.3.4 Expedice paliva**

Obsah T1a se po provedení rozborů (ověření parametrů) přečerpá do nádrže T2. Nádrž T2 slouží jako zásobní nádrž Topného oleje VADS. Přečerpané množství do nádrže T2 a stav v nádrži T2 se zaeviduje v záznamech v elektronické podobě. Z nádrže T2 je Topný olej VADS přečerpáván čerpadly do provozní nádrže 5m<sup>3</sup> na parní kotelnu VADS, množství se zaeviduje v záznamech v elektronické podobě. Skutečná spotřeba Topného oleje VADS je evidována v provozní dokumentaci parní kotelny VADS.

### 1.3.5 Měření spotřeby paliva

Provozní nádrž kotelny je vybavena stavoznakem výšky hladiny a topič zaznamená její výšku na počátku a na konci směny. Navíc je povinen zaznamenat stav nádrže před plněním a ihned po plnění (po uzavření přívodní armatury) a ustálení hladiny. Pro přepočet výšky hladiny na množství paliva v nádrži je zpracována převodní kalibrační tabulka (kalibraci nádrže a zpracování tabulky provedla firma GRAF Liberec). Topičův záznam výšky hladiny a odpovídajícího objemu paliva do příslušného formuláře (v elektronické podobě) je podkladem pro stanovení spotřeby paliva v kotelně.

### 1.4 Emisní limity

Při spalování předepsaného paliva musí být dodržovány emisní limity pro velký spalovací zdroj na kapalná paliva (dle přílohy č. 4 Nařízení vlády č. 146 / 2007 Sb.).

**Tabulka 4: Emisní limity**

Jmenovitý tepelný výkon (MW)	Emisní limit (v mg/m <sup>3</sup> vtaženo na normální stavové podmínky a suchý plyn) pro:				$O_{2ref}$
	TZL	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	
0,2 - 1	100	<sup>1</sup>	100	175	3
>1 - 5	100	<sup>1</sup>	500	175	3
>5 - 50	100	1700	450	175	3

---

<sup>1</sup> Obsah síry v palivu max. 1% hm

## **1.5 Popis technologických operací**

### **1.5.1 Manipulace s palivem**

Na středotlaké parní kotelně dochází k spalování paliva v hořácích kotlů. Palivo se před čerpáním do trysky (ústí hořáku) předehtívá na teplotu cca 125° C, přebytek paliva je vrácen přepadovým ventilem do uzavřeného okruhu podávání paliva k hořáku.

### **1.5.2 Hoření paliva**

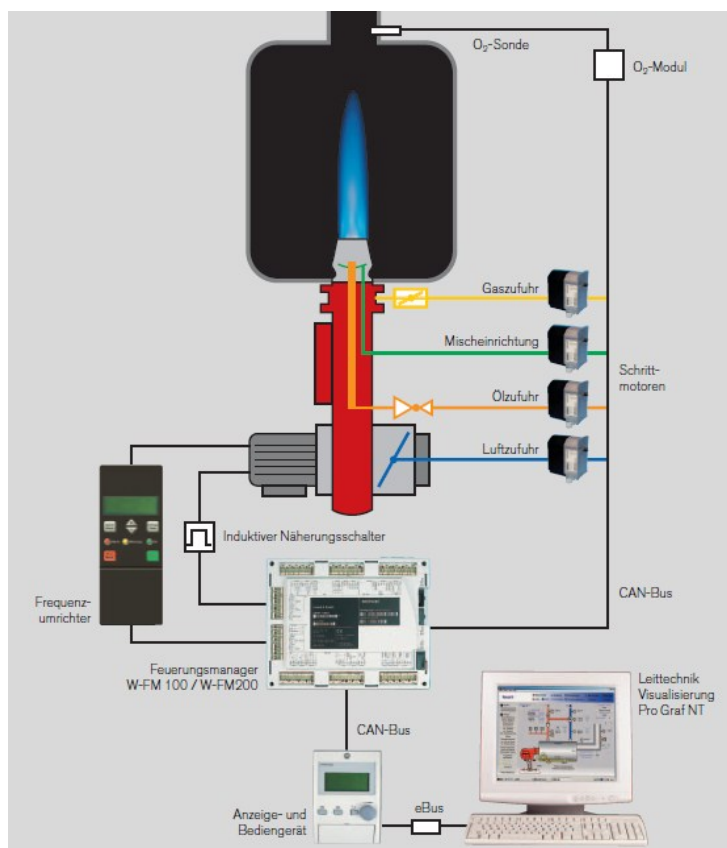
Kapalné palivo není spalováno přímo, ale až po jeho rozprášení. Směs kapalného paliva a vzduchu se po rozprášení chová jako koloidní soustava s jemně rozptýlenými kapalnými částicemi suspendovanými v plynném difúzním prostředí. Mlhovina existuje velice krátce, protože dochází k rychlému vypařování kapalných částic a vytvoření plynné primární směsi. Od tohoto okamžiku se směs chová jako při spalování plynného paliva. Vypařování a zplynování paliva je tím rychlejší, čím jsou menší kapičky paliva. To znamená, že kapalné palivo musí být rozprášeno co nejjemněji a jeho páry a plynu musí být dokonale smíšeny se spalovacím vzduchem. Průměr kapiček rozprášeného paliva by neměl přesáhnout 0,05-0,07mm. U tohoto zařízení je potřebných parametrů dosaženo pomocí předehtání paliva na 125° C, a ventilátorového vzduchu.

### **1.5.3 Způsob řízení spalovacího procesu**

Hořák je řízen vlastní řídicí programovatelnou jednotkou RMS 50, seřízení hořáku je provedeno protokolárně odbornou firmou dodavatele – podmínky spalování nelze odsluhou ovlivnit. Kontrola seřízení hořáku se provede v případě zhoršení emisí. Toto provádí dodavatel technologie. Provoz kotelný je řízen volně programovatelným

regulátorem TECO TR304. Jednotka obsluhuje regulaci, provoz a hlídání kritických hodnot hlídaných strojů a zařízení.

**Obrázek 3: Řízení spalovacího procesu**



#### **1.5.4 Podmínky provozu zařízení pro omezování znečišťujících látek**

Zařízení sloužící pro omezování emisí znečišťujících látek nejsou projektovány a tudíž ani nainstalovány. Další operace, sloužící k omezování emisí znečišťujících látek nejsou prováděny.

## 1.6 Výstupy z technologie

### 1.6.1 Pára

**Tabulka 5: Parametry vyrobené páry**

Tlak páry provozní	6 MPa
Teplota páry:	165°C
Množství páry maximální	5,5 t / hod. (pro 1 kotel)
Množství páry provozní	1 – 5 t / hod

### 1.6.2 Popílek

Popílek, vznikající hořením paliva se především ukládá na vnitřních plochách kotle, odkud je odstraňován při čištění kotle. Odstraněný popílek je nebezpečným odpadem 10 01 04, a nakládání s nebezpečnými odpady se řídí ustanoveními Provozní směrnice – Provozním řádem – Zařízení pro nakládání s nebezpečnými odpady.

### 1.6.3 Zařízení pro kontinuální měření emisí

Zařízení pro kontinuální měření emisí není instalováno. Stanovení emisí pro případ výpadku kontinuálního měření není stanoveno. Měřicí místa pro roční měření jsou nainstalována na výstupy obou kotlů, vzhledem k stavební dispozici zařízení nesplňuje umístění požadavky normy ČSN ISO 10780 v ustanovení o délce rovného úseku proudění plynů. Instalované příruby jsou typu ORGREZ a TESO.

## 2 Výpočet účinnosti kotle a spotřeby paliva

Výpočet účinnosti kotle se dá provést dvěma možnými metodami.

### 1. Metoda přímá

Účinnost je ukazatelem míry dokonalosti transformace energie v zařízení. Jedná se o technicko-ekonomický parametr. Vyjadřuje poměr mezi energií využitou a energií přivedenou do zařízení, tedy mezi výkonem a příkonem.

$$\eta = \frac{P_v}{P_p} [1]$$

$$P_p = \dot{m}_{pal} \cdot Q_i^r [kW]$$

$$P_v = \dot{m}_v \cdot c_v \cdot \Delta t [kW]$$

Přímá a porovnávací účinnost se určuje u energetických strojů, ve kterých dochází ke kompresi či expanzi plynů.

Tato metoda je založena na znalosti přesného množství paliva dodávaného do kotle a jeho kvality, respektive výhřevnosti, účinnost se pak určí prostým poměřením příkonu a výkonu. Výkon lze měřit snadno.

Tento způsob lze s dostatečnou přesností použít pouze u plynových či olejových kotlů a při laboratorním měření malých spalovacích zařízení uložených na měřicí váze, kde lze určit množství spáleného paliva.

Výkon kotle je poměrně snadné určit z množství pracovního média a jeho teploty (u vody) či entalpie (u páry).

### 2. Metoda nepřímá

Odečtením všech ztrát na spalovacím zařízení od 100% účinnosti.

$$\eta = 1 - \sum_1^i \xi_i [1]$$

- $\xi_K$  ztráta komínová (ztráta citelným teplem spalin) – spaliny mají za poslední teplosměnnou plochou teplotu vyšší než je teplota okolí
- $\xi_{CO}$  ztráta chemickým nedopalem – ztráta vzniklá nevyužitím hořlavých složek ve spalinách
- $\xi_{Ci}$  ztráta mechanickým nedopalem – ztráta vzniklá nevyužitím hořlavých složek v tuhých zbytcích
- $\xi_F$  ztráta fyzickým teplem tuhých zbytků – tuhé zbytky opouštějí spalovací zařízení s teplotou vyšší než je teplota okolí
- $\xi_{CH}$  ztráta sdílením tepla do okolí – spalovací zařízení předává svým povrchem část tepla do okolí

### 3. Spotřeba paliva

Dá odečíst z tabulek pro použitý typ hořáku a jeho výkonu, nebo se dá spočítat z výhřevnosti použitého paliva.

$$\dot{m}_{pal} = \frac{P_p}{Q_i^r} \cdot 3600 [kg \cdot h^{-1}]$$

## 2.1 Výpočet účinnosti kotle

### 2.1.1 Metoda přímá

$P_v$  .....výkon kotle s ekonomizérem (z údajů výrobce) 3830 kW

$P_p$  .....výkon hořáku (z údajů výrobce) 4050 kW

$$\eta = \frac{3830}{4050} \cdot 100 = \underline{\underline{94,5 \%}}$$



### 2.1.2 Metoda nepřímá

Při spalování kapalných paliv je největší ztráta komínová. Ostatní ztráty, například ztráta chemickým nedopalem (spalovací proces je řízen počítačem a obsluha ho nemůže ovlivnit), jsou zanedbatelné nebo nulové. Proto budu uvažovat pouze s touto ztrátou.

$$\xi_{K1} = (100 - \xi_C) \cdot \frac{V_{PV} \cdot c_{PV} \cdot (t_{K1} - t_{VZ})}{q_i}$$

kde:

$\xi_{K1}$  ztráta komínová (ztráta citelným teplem spalin)

$V_{PV}$  objem vlhkých spalin (při normálních podmínkách) vzniklých z 1 kg ( $\text{m}^3$ )  
paliva [ $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ]

$c_{PV}$  střední měrná tepelná kapacita vlhkého vzduchu při teplotě  $t_K$  [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_{K1}$  teplota spalin odcházejících z kotle [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$t_{VZ}$  teplota vzduchu vstupujícího do kotle [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$q_i$  teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

$$\xi_{K1} = (100 - 0) \cdot \frac{13,3 \cdot 1,4166 \cdot (250 - 120)}{42700} = \underline{\underline{5,73}}$$

## 2.2 Výpočet spotřeby paliva

$$\dot{m}_O = \frac{P_p}{Q_i^r} \cdot 3600 \text{ [kg} \cdot \text{h}^{-1}]$$

kde:

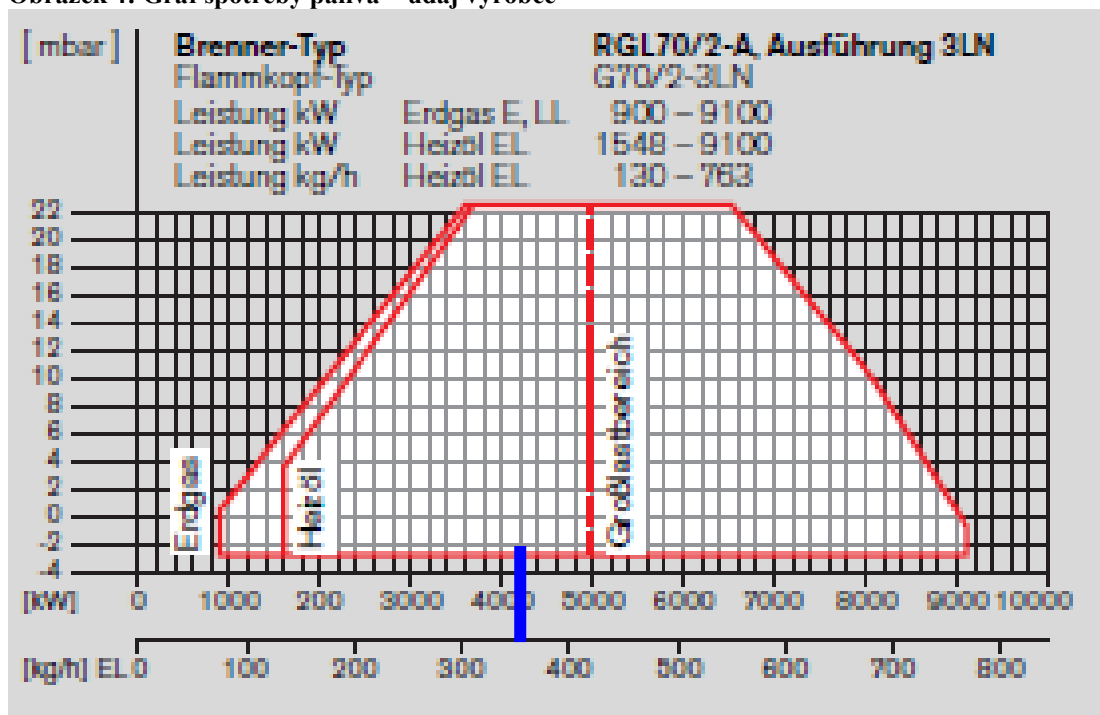
$P_p$  - požadovaný výkon hořáku 4050 kW

$Q_i^r$  - výhřevnost paliva 40200 kJ

$$\dot{m}_O = \frac{4050}{40200} \cdot 3600 = \underline{\underline{362,7 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

Tento výpočet můžeme porovnat s údaji výrobce hořáku.

Obrázek 4: Graf spotřeby paliva – údaj výrobce



### 3 Návrh úprav zařízení pro snížení teploty spalin

#### 3.1 Výpočet výstupních hodnot spalin

Z důvodů vysoké teploty spalin vystupujících z komína kotelny jsem se rozhodl navrhnout úpravy, které by měly vést ke snížení výstupní teploty spalin a tím i zvýšení celkové účinnosti spalovacího zařízení. Řešením by mohlo být navržení přídavného zařízení – spalinového výměníku (ekonomizéru).

##### 3.1.1 Rozbor paliva

Rozbor vyráběného paliva je podrobně uveden v Příloze č.4

Tabulka 6: Rozbor paliva

Druh oleje	Hustota	Složení								Výhřevnost
		%								$Q_i^r$
	kg/m <sup>3</sup>	C	H	O	N	S	w	PCB	popeloviny	MJ/kg
těžký	0,97	84	11	1,1	0,4	1,8	0,1	1,7	0,14	42,7

##### 3.1.2 Stanovení množství spalovacího vzduchu

Množství stechiometrického vzduchu:

$$V_{vz,t}^{ol} = \left( \frac{22,39}{12} \cdot C + \frac{22,39}{4} \cdot H_2 + \frac{22,39}{32} \cdot S - \frac{22,39}{32} O_2 \right) \cdot \frac{1}{0,21} \quad [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$V_{vz,t}^{ol} = \left( \frac{22,39}{12} \cdot 0,84 + \frac{22,39}{4} \cdot 0,11 + \frac{22,39}{32} \cdot 0,018 - \frac{22,39}{32} \cdot 0,011 \right) \cdot \frac{1}{0,21} = 10,42 \, m_N^3 \cdot kg^{-1}$$

Množství spalovacího vzduchu suchého:

$$V_{vz,s}^s = V_{vz,t}^s \cdot n \quad [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

Pro dokonalejší spalování volím spalování s přebytkem vzduchu  $n = 1,1$

$$V_{vz,s}^s = 10,42 \cdot 1,1 = \underline{11,462 \text{ } m_N^3 \cdot kg^{-1}}$$

Množství spalovacího vzduchu vlhkého:

$$V_{vz,s}^v = V_{vz,t}^v \cdot \nu \quad [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

kde je součinitel zvětšení objemu vlhkosti vzduchu

$$\nu = 1 + \frac{\varphi \cdot p_{p'}}{p_v - p_{p'}}$$

Kde:

$\varphi$  - relativní vlhkost vzduchu = 0,8

$p_{p'}$  - parciální tlak nasycené vodní páry = 3167 Pa

$p_v$  - tlak vlhkého vzduchu =  $0,1 \cdot 10^6$  Pa

Předpokládám spalování s minimálním přebytkem vzduchu. Toto množství vzduchu je schopen zaručit samotný ventilátor hořáku. Z tohoto plyne, že do kotle bude vháněn vzduch přehřátý hořákem, nasávaný zevnitř kotelný ( $t_{vz} = 25^\circ\text{C}$ ,  $\varphi = 0,8$ ). Další hodnoty byly odečteny z tabulek.

$$\nu = 1 + \frac{0,8 \cdot 3167}{0,1 \cdot 10^6 - 3167} = \underline{1,0262}$$

Vlhkost vzduchu předpokládám  $\nu = 1,03$

$$V_{vz,s}^v = 11,462 \cdot 1,03 = \underline{\underline{11,81 \text{ } m_N^3 \cdot kg^{-1}}}$$

### 3.1.3 Stanovení množství spalín

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \cdot C$$

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,84 = \underline{1,568 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot S$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 0,018 = \underline{0,0126 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \cdot N + 0,79 \cdot V_{vz}^s$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \cdot 0,004 + 0,79 \cdot 12,504 = \underline{9,881 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{O_2} = \frac{22,4}{32} \cdot O + 0,21 \cdot (n-1) \cdot V_{vz}^s$$

$$V_{O_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 0,011 + 0,21 \cdot (1,1-1) \cdot 12,504 = \underline{0,27 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot H_2 + \frac{22,4}{18} \cdot w + (\nu-1) \cdot V_{vz,s}^s$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,11 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,001 + (1,03-1) \cdot 11,462 = \underline{1,57 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{sp-skut}^v = \sum V_i = \underline{\underline{13,3 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

### 3.1.4 Procentuelní zastoupení složek ve spalinách

$$\varpi_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{sp}} \cdot 100 = \frac{1,568}{13,3} \cdot 100 = 11,79 \%$$

$$\varpi_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{sp}} \cdot 100 = \frac{0,0126}{13,3} \cdot 100 = 0,09 \%$$

$$\varpi_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{sp}} \cdot 100 = \frac{9,881}{13,3} \cdot 100 = 74,29 \%$$

$$\varpi_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{sp}} \cdot 100 = \frac{0,27}{13,3} \cdot 100 = 2,03 \%$$

$$\varpi_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{sp}} \cdot 100 = \frac{1,57}{13,3} \cdot 100 = 11,8 \%$$

### 3.1.5 Celkové množství vlhkých spalin pro daný výkon kotelný

Spotřeba paliva při požadovaném výkonu hořáku 4050 kW:

$$\dot{m}_O = \underline{\underline{362,7 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

Celkové množství spalin při požadovaném výkonu:

$$V_{sp-celk}^V = \dot{m}_O \cdot V_{sp-skut}^V$$

$$V_{sp-celk}^V = 362,7 \cdot 13,3 = \underline{\underline{4823,91 \text{ m}_N^3 \cdot \text{h}^{-1}}} = \underline{\underline{1,34 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

### 3.1.7 Střední teplota proudu spalín ve výměníku

$$t_{stř} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

kde:

$t_1, t_2$  – teplota proudu na vstupu a výstupu [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$$t_{stř} = \frac{250 + 150}{2} = \underline{\underline{200^{\circ}\text{C}}}$$

### 3.1.8 Střední měrná tepelná kapacita spalín

Střední kapacitu spalín při střední teplotě spalín  $200^{\circ}\text{C}$  určíme z tabulky a spočteme podle vzorce:

$$c_{spsř} = \sum c_p \cdot \frac{\%obj}{100} \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$$

kde:

$c_p$  – měrná tepelná kapacita jednotlivých prvků za střední teploty spalín

$\%obj$  – procentuelní zastoupení prvku ve spalínách

$$cp_{O_2} = 1,3372 \cdot \frac{2,03}{100} = \underline{\underline{0,02715 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

$$cp_{N_2} = 1,2994 \cdot \frac{74,29}{100} = \underline{\underline{0,96532 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

$$cp_{CO_2} = 1,7863 \cdot \frac{11,79}{100} = \underline{\underline{0,2176 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

$$cp_{SO_2} = 1,9427 \cdot \frac{0,09}{100} = \underline{\underline{0,00175 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

$$cp_{H_2O} = 1,5227 \cdot \frac{11,8}{100} = \underline{\underline{0,17968 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

$$c_{spsř} = \sum c_p = \underline{\underline{1,3915 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

### 3.1.9 Měrná hustota spalin

Hustotu spalin při střední teplotě spalin 200°C určíme podle vzorce:

$$\rho_{sp} = \frac{P_1 \cdot M \cdot W}{R \cdot T_{spstř}} = \frac{P_1 \cdot \Sigma M \cdot n}{R \cdot T_{spstř}} \quad [kg/m^3]$$

kde:

$P_1$  – tlak spalin ve výměníku [Pa]

$M$  – molární hmotnost složky [kg.kmol<sup>-1</sup>]

$n$  – podíl složky ve spalínách [-]

$R$  – plynová konstanta [J.kmol<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

$T_{sp, stř}$  – střední teplota spalin [K]

**Výpočet molární hmotnosti složek spalin:**

$$M_{O_2} = 32 \cdot \frac{2,03}{100} = \underline{0,736 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$M_{N_2} = 28,01 \cdot \frac{74,29}{100} = \underline{20,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$M_{CO_2} = 44,01 \cdot \frac{11,79}{100} = \underline{5,189 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$M_{SO_2} = 64,06 \cdot \frac{0,09}{100} = \underline{0,058 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$M_{H_2O} = 18,016 \cdot \frac{11,8}{100} = \underline{2,126 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}$$

$$M_{sp} = \Sigma M_p = \underline{\underline{28,91 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$

**Výpočet měrné hustoty spalin:**

$$\rho_{sp} = \frac{131325 \cdot 28,91}{8314,3 \cdot 473,15} = \underline{\underline{0,97 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}}}$$



### 3.1.10 Hmotnostní tok spalin

$$\dot{m}_{sp} = V_{sp,celk}^v \cdot \rho_{sp} \quad [kg \cdot s^{-1}]$$

kde:

$$V_{sp,celk}^v - \text{celkový objem spalin } [m_N^3 \cdot kg^{-1}]$$

$$\rho_{sp} - \text{měrná hustota spalin } [-]$$

$$\dot{m}_{sp} = 1,34 \cdot 0,97 = \underline{\underline{1,3 \text{ kg} \cdot s^{-1}}}$$

### 3.2 Návrh spalinového výměníku

Pro kotle Wiessmann 200 HS jsem zvolil spalinový výměník protiproudý, trubkový.

#### 3.2.1 Bilanční rovnice pro spalinový výměník

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_1 \cdot c_1 \cdot (t_{11} - t_{12}) \cdot \eta = \dot{m}_2 \cdot c_2 \cdot (t_{21} - t_{22}) = k \cdot \Delta t \cdot S \quad [kW]$$

kde:

$$\dot{m}_1, \dot{m}_2 - \text{hmotnostní průtok ohřívající a ohřívané látky } [kg \cdot s^{-1}]$$

$$c_1, c_2 - \text{měrná tepelná kapacita ohřívající a ohřívané látky } [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

$$t_{11}, t_{12} - \text{teplota ohřívající látky na vstupu a výstupu } [^{\circ}C]$$

$$t_{21}, t_{22} - \text{teplota ohřívané látky na vstupu a výstupu } [^{\circ}C]$$

$$\eta - \text{tepelná účinnost výměníku } [-]$$

$$k - \text{součinitel přestupu tepla } [kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

$$\Delta t - \text{střední logaritmický teplotní spád } [^{\circ}C]$$

$$S - \text{teplosměnná výhřevná plocha } [m^2]$$

### 3.2.2 Stanovení tepla přivedeného ve spalínách

$$Q_{sp} = \dot{m}_{sp} \cdot (i_{1sp} - i_{2sp}) = \dot{m}_{sp} \cdot c_{sp, stř} \cdot (t_{11} - t_{12}) \quad [kW]$$

kde:

$\dot{m}_{sp}$  – hmotnostní průtok spalín [kg.s<sup>-1</sup>]

$i_{1sp}, i_{2sp}$  – entalpie spalín na vstupu a výstupu [kJ.kg<sup>-1</sup>]

$c_{sp, stř}$  – měrná tepelná kapacita spalín pro střední teplotu [kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]

$t_{11}, t_{12}$  – teplota spalín na vstupu a výstupu [°C]

$$Q_{sp} = 1,3 \cdot 1,3915 \cdot (250 - 150) = \underline{\underline{180,9 \text{ kW}}}$$

**Skutečné teplo přivedené ve spalínách:**

Zohlednění ztráty cca 0,5% způsobeném sáláním

$$Q_{sp} = Q_{sp} \cdot z \quad [kW]$$

kde:

$Q_{sp}$  – teplo ze spalín [kW]

$z$  – opravný koeficient ztráty tepla sáláním [-]

$$Q_{sp} = 180,9 \cdot 0,995 = \underline{\underline{180 \text{ kW}}}$$

### 3.2.3 Stanovení množství vody protékající výměníkem z bilanční rovnice

$$Q_{sp} = \dot{m}_{sp} \cdot c_{sp, stř} \cdot \Delta T_{sp} = \dot{m}_w \cdot c_{pw} \cdot \Delta T_w \Rightarrow \dot{m}_w = \frac{\dot{m}_{sp} \cdot c_{sp} \cdot \Delta T_{sp}}{c_{pw} \cdot \Delta T_w} [kg \cdot s^{-1}]$$

kde:

$M_{sp}$  – objemový průtok spalin [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$\rho_{sp}$  – hustota spalin přepočítaná na podmínky ve výměníku [ $kg/m^3$ ]

$Q_{sp}$  – teplo ze spalin [kW]

$\dot{m}_{sp}$  – hmotnostní tok spalin [ $kg \cdot s^{-1}$ ]

$c_{sp, stř}$  – měrná tepelná kapacita spalin pro střední teplotu [ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$\Delta T_{sp}$  – rozdíl teplot spalin na vstupu a výstupu [ $^{\circ}C$ ]

$c_{pw}$  – měrná tepelná kapacita vody při podmínkách ve výměníku [ $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$ ]

$\Delta T_w$  – rozdíl teplot vody na výstupu a vstupu [ $^{\circ}C$ ]

$$\dot{m}_w = \frac{1,3 \cdot 1,3915 \cdot 373,15}{3,6485 \cdot 348,25} = \underline{\underline{0,53 kg \cdot s^{-1}}}$$

**Objemový tok vody:**

$$M_w = \frac{\dot{m}_w}{\rho_w} [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde:

$\dot{m}_w$  – hmotnostní tok vody [kg/s]

$\rho_w$  – hustota vody při podmínkách ve výměníku [ $kg/m^3$ ]

$$M_w = \frac{0,53}{897,3} = \underline{\underline{0,0006 m^3 \cdot s^{-1}}}$$

### 3.2.4 Výpočet teplosměnné plochy

$$Q_{sp} = k \cdot S \cdot \Delta t \Rightarrow S = \frac{Q_{sp}}{k \cdot \Delta t_{st}} \quad [m^2]$$

kde:

$Q_{sp}$  – teplo ze spalin [kW]

$k$  – součinitel přestupu tepla [ $kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\Delta t_{st}$  – střední logaritmický teplotní spád [ $^{\circ}C$ ]

$$S = \frac{180}{0,0189 \cdot 142,13} = \underline{\underline{67 \, m^2}}$$

#### Součinitel prostupu tepla:

$$k = \frac{\alpha_1}{1 + \varepsilon \cdot \alpha_1} \quad [kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:

$\alpha_1$  – součinitel přestupu tepla ze spalin do stěny [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\varepsilon$  – součinitel zanesení výhřevné plochy [-]

$$k = \frac{20,01}{1 + 0,026 \cdot 20,01} = \underline{\underline{0,019 \, kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}}$$

#### Součinitel přestupu tepla:

$$\alpha_1 = \omega \cdot \alpha_k + \alpha_s \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:

$\omega$  – součinitel omývání spalinami [-]

$\alpha_k$  – součinitel přestupu tepla konvekcí [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\alpha_s$  – součinitel přestupu tepla sáláním [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ] - jeho nízká hodnota by se v dalších výpočtech nijak neprojevila, a proto ho zanedbám

$$\alpha_1 = 1 \cdot 20,01 + 0 = \underline{\underline{20,01 \, W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}}$$

### Součinitel přestupu tepla konvekcí pro podélné proudění:

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d_e} \cdot \left( \frac{w_{sp} \cdot d_e}{\nu} \right)^{0,8} \cdot \text{Pr}^{0,4} \cdot c_t \cdot c_l \cdot c_m \quad [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$$

kde:

$\lambda$  – součinitel tepelné vodivosti media při střední teplotě [ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$w_{sp}$  – rychlost spalin v zařízení [ $m \cdot s^{-1}$ ]

$d_e$  – ekvivalent průměru [m]

$\nu$  – součinitel kinematické viskozity spalin [ $m^2 \cdot s^{-1}$ ]

Pr – Prandtlovo číslo při střední teplotě proudu [-]

$c_t$  – opravný koeficient závislí na teplotě proudu a stěny [-]

$c_l$  – opravný koeficient závislí na poměrnou délku [-]

$c_m$  – opravný koeficient zaváděný při proudění v kanálech mezikruží a jednostranným ohřevem v závislosti na poměru průměrů [-]

$$\alpha_k = 0,023 \cdot \frac{0,0401}{0,025} \cdot \left( \frac{4,06 \cdot 0,025}{0,0000316} \right)^{0,8} \cdot 0,67^{0,4} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = \underline{\underline{20,01 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

hodnoty získané z tabulek:

$$\lambda = \lambda_{st} \cdot M_\lambda = 0,0401 \cdot 1 = \underline{0,0401 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$\nu = \nu_{stř} \cdot M_\nu = 0,0000316 \cdot 1 = \underline{0,0000316 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}}$$

$$\text{Pr} = \text{Pr}_{stř} \cdot M_{\text{Pr}} = 0,67 \cdot 1 = \underline{0,67}$$

$$d_e = \underline{0,025 \text{ m}}$$

### Rychlost spalin v zařízení:

$$w_{sp} = \frac{\dot{V}_{sp,skut}^v}{S_{sp}} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

kde:

$\dot{V}_{sp,skut}^v$  – objemový průtok spalin [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$S_{sp}$  – průřez pro proudění spalin [ $m^2$ ]

$$w_{sp} = \frac{1,34}{0,33} = \underline{\underline{4,06 \, m \cdot s^{-1}}}$$

### Střední logaritmický teplotní spád:

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{(t_{12} - t_{21}) - (t_{11} - t_{22})}{\ln \frac{t_{12} - t_{21}}{t_{11} - t_{22}}} \quad [^{\circ}C]$$

kde:

$t_{11}$  – vstupní teplota spalin .... 250°C

$t_{12}$  – výstupní teplota spalin .... 150°C

$t_{21}$  – vstupní teplota vody .... 20°C

$t_{22}$  – výstupní teplota vody .... 95°C

$$\overline{\Delta t} = \frac{155 - 130}{\ln \frac{155}{130}} = \underline{\underline{142,13 \, ^{\circ}C}}$$

**Rychlost vody v zařízení:**

$$w_w = \frac{\dot{M}_w}{S_w} \quad [m \cdot s^{-1}]$$

kde:

$\dot{M}_w$  – objemový průtok vody [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

$S_w$  – průřez pro průtok vody [ $m^2$ ]

$$w_w = \frac{0,0006}{0,675} = \underline{0,0009 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}$$

**Výpočet předaného tepla z rovnice sdílení tepla:**

$$Q = S \cdot k \cdot \Delta t \quad [kW]$$

kde:

$S$  – teplosměnná plocha [ $m^2$ ]

$k$  – součinitel přestupu tepla [ $kW \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ ]

$\Delta t$  – střední logaritmický teplotní spád [ $^{\circ}C$ ]

$$Q = 66,1 \cdot 0,019 \cdot 142,13 = \underline{\underline{178,5 \text{ kW}}}$$

**Chyba mezi vypočteným tepelným tokem z bilanční rovnice a rovnice sdílení tepla:**

$$y = 100 - 100 \cdot \frac{Q}{Q_{sp}} \quad [\%]$$

kde:

$Q$  – teplo vypočtené z bilanční rovnice [kW]

$Q_{sp}$  – teplo ze spalin [kW]

$$y = 100 - 100 \cdot \frac{178,5}{180} = \underline{0,83 \%}$$

## **.2.5 Návrh rozměrů spalínového výměníku z vypočtených hodnot**

### **Těleso výměníku:**

Vnitřní průměr tělesa výměníku	$d_2 = 0,8 \text{ m}$
Vnější průměr tělesa výměníku	$D_2 = 0,81 \text{ m}$
Výška tělesa výměníku	$l_2 = 2 \text{ m}$

### **Trubkový výměník:**

Vnitřní průměr trubky	$d_1 = 0,04 \text{ m}$
Vnější průměr trubky	$D_1 = 0,0425 \text{ m}$
Délka trubky	$l_1 = 2 \text{ m}$
Počet trubek	$n = 263 \text{ ks}$

### **Průřez průtoku spalín výměníkem:**

$$S_{sp} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot n = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} \cdot 263 = \underline{\underline{0,33 \text{ m}^2}}$$

### **Objem spalín ve výměníku:**

$$V_{vym}^{sp} = S_{sp} \cdot l_1 = 0,33 \cdot 2 = \underline{\underline{0,66 \text{ m}^3}}$$

### **Průřez průtoku vody výměníkem:**

$$S_w = \left( \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot l_2 \right) - S_{sp} = \left( \frac{\pi \cdot 0,8^2}{4} \cdot 2 \right) - 0,33 = \underline{\underline{0,675 \text{ m}^2}}$$

### **Objem vody ve výměníku:**

$$V_{vym}^W = S_w \cdot l_2 = 0,675 \cdot 2 = \underline{\underline{1,35 \text{ m}^3}}$$

### **Teplosměnná plocha výměníku:**

$$S = \pi \cdot d_1 \cdot l_1 \cdot n = \pi \cdot 0,04 \cdot 2 \cdot 263 = \underline{\underline{66,1 \text{ m}^2}}$$



## 4 Návrh zařízení pro čištění spalin

Vzhledem k tomu, že kvalita paliva pro kotel se velice často pohybuje na povolené hranici a měřením emisí z kotle, jsou zjišťovány hodnoty přesahující povolené limity, mělo by tuto situaci vyřešit navržení a konstrukce vhodného filtračního zařízení.

Jako nejvýhodnější se zdá být montáž elektrostatického odlučovače.

Elektrostatický odlučovač je využíván k dosažení nízkých hodnot znečišťujících látek vznikajících při spalování. Standardně tvoří tzv. primární stupeň čištění spalin. Využívá vzniku přitažlivých sil mezi elektricky nabitými částicemi TZL a opačně nabitou sběrací elektrodou.

Spaliny jsou vedeny do aktivního prostoru elektrostatického odlučovače přes vstupní díl s rozdělovacími stěnami, které zajišťují rovnoměrné rozložení spalin po celém průřezu elektrostatického odlučovače. Aktivní prostor tvoří systém elektrod, kde vzniká silné elektrostatické pole. V tomto elektrostatickém poli se odlučované částice nabíjí a usazují na povrchu elektrod. Mechanickým oklepáváním se usazené částice uvolňují a padají do výsypek ve spodní části elektrostatického odlučovače, odkud jsou odváděny k uložení.

K výhodám elektrostatických odlučovačů patří:

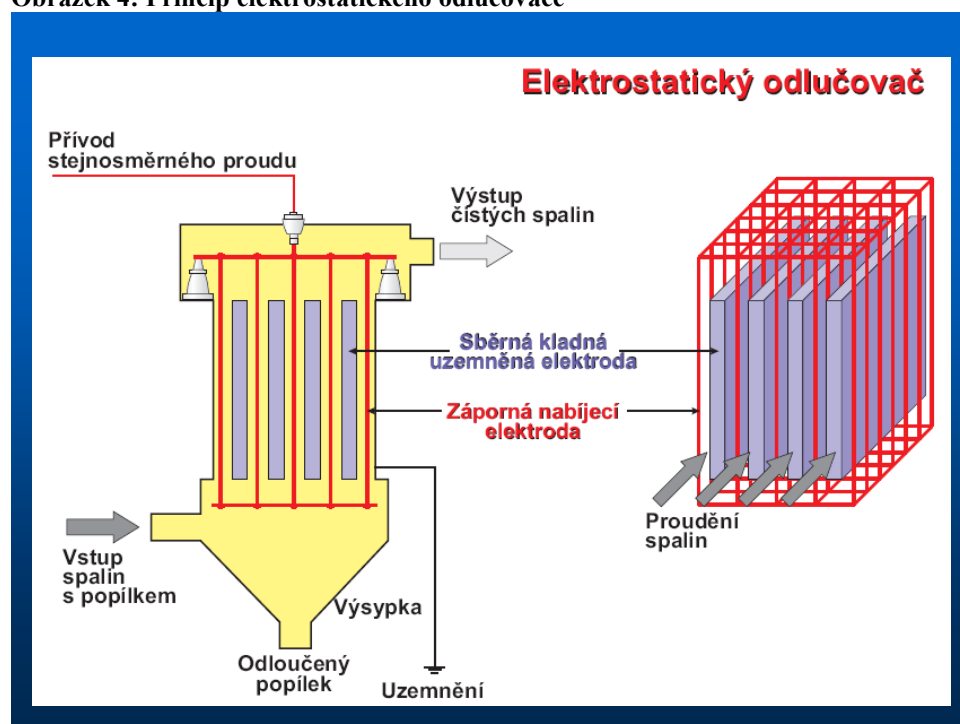
- dlouhá životnost zařízení
- nízké provozní náklady
- nenáročnost na obsluhu zařízení
- nízká tlaková ztráta
- menší citlivost na překročení teplot spalin

## 4.1 Popis činnosti elektrostatického odlučovače

Část popílku se zachytí ještě při průchodu kotlem, ale jeho největší množství ze spalín odseparuje elektrostatický odlučovač. Ten má tvar velké skříně s trychtýřovitě se zužujícím dnem. Uvnitř je řada vedle sebe postavených usazovacích elektrod. Jsou to obdélníkové plechy svisle zavěšené do speciálních rámců. Mezi ně jsou vloženy vysokonapěťové (nazývané také sršící) elektrody. Ty mají většinou tvar tyčový (někdy s nejrůznějšími hroty, jehlami atd.).

Na elektrody je přivedeno velmi vysoké stejnosměrné napětí o velikosti 30000 - 100000 V. Vysokonapěťová elektroda nese záporný a usazovací elektroda kladný náboj. Při průchodu spalín v elektrickém poli mezi elektrodami dochází vlivem emise elektronů ze sršící elektrody k ionizaci plynu. Prachové částice popílku se nabíjejí zápornými ionty, a jsou proto přitahovány ke kladné usazovací elektrodě. Odtud je usazený popílek průběžně sklepáván pomocí speciálního mechanismu do trychtýřovitého dna odlučovače. Poté je transportován do sila popílku, kde čeká na další zpracování.

Obrázek 4: Princip elektrostatického odlučovače



Elektrostatické filtry se staví pro velké průtoky odpadních plynů. Konstruuje se s odlučovacími plochami od 100 do 15000 m<sup>2</sup> a pro velikost odlučovaných částic 0,01 - 60 μm. Postupová rychlost spalin bývá až 0,2 m.s<sup>-1</sup> a tlaková ztráta je nízká cca 20 – 50 Pa. Jsou vhodné pro odlučování prachu z odpadních plynů až do teplot cca 380°C. Odlučovací účinnost často překračuje 99,9 %

Největšího rozšíření doznaly elektrostatické odlučovače v energetice pro odlučování popílku ze spalování uhlí a pro odlučování sazí z kotlů na mazut. Dále v cementárnách, hutním průmyslu, ve spalovnách odpadů, zejména komunálních, v dřevařském průmyslu a dalších průmyslových činnostech, jako při výrobě papíru a celulosy k odprašování tzv. regeneračních kotlů. U regeneračních kotlů zachycují drobné částice, vesměs lepkavého charakteru. Jejich rezistivita je nízká a proto je možné je snadněji odstranit z odpadních plynů. S ohledem na malou velikost částic a možné strhávání odloučených částic při oklepávání srážecích elektrod, musí být konstrukci odlučovače věnována větší pozornost. Strhávání odloučených částic se eliminuje nižší postupovou rychlostí plynů odlučovačem a tvarem sběracích elektrod. Dosahovaná odlučivost je oproti jiným druhům prachu nižší a bývá 99,7 – 99,8 %. Také koroze jsou zde významnější.

Elektrické odlučovače zaznamenaly v posledních desetiletích významný rozvoj. Bylo dosaženo vysoké spolehlivosti v důsledku vývoje nových efektivně pracujících zdrojů velmi vysokého napětí s minimální poruchovostí. To umožnilo, aby mohly být používány jako jediný odlučovací stupeň, tj. bez předodlučovačů, nejčastěji cyklónů, jak tomu bylo před třiceti lety (např. v energetice pro odlučování popílku).

**Obrázek 5: Dvousekcvý komorový odlučovač**



## 4.2 Elektrostatický odlučovač

Pro odlučování nečistot ze spalín kotelny jsem zvolil jednoduchý elektrostatický odlučovač komorového provedení.

### 4.2.1 Stanovení množství spalín

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \cdot C$$

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \cdot 0,84 = \underline{1,568 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot S$$

$$V_{SO_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 0,018 = \underline{0,0126 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \cdot N + 0,79 \cdot V_{vz}^s$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \cdot 0,004 + 0,79 \cdot 12,504 = \underline{9,881 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{O_2} = \frac{22,4}{32} \cdot O + 0,21 \cdot (n-1) \cdot V_{vz}^s$$

$$V_{O_2} = \frac{22,4}{32} \cdot 0,011 + 0,21 \cdot (1,1-1) \cdot 12,504 = \underline{0,27 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot H_2 + \frac{22,4}{18} \cdot w + (v-1) \cdot V_{vz,s}^s$$

$$V_{H_2O} = \frac{22,4}{2} \cdot 0,11 + \frac{22,4}{18} \cdot 0,001 + (1,03-1) \cdot 11,462 = \underline{1,57 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}$$

$$V_{sp-skut}^v = \sum V_i = \underline{\underline{13,3 \text{ m}_N^3 \cdot \text{kg}^{-1}}}$$

### 4.2.2 Výpočet množství spalin efektivních

Výpočet provedeme z výpočtu množství spalin v normálním stavu, který změni objem v závislosti skutečné teplotě spalin. Přepočet provedeme podle vzorce pro převod na jiný stav.

$$\frac{p_N \cdot V_N}{T_N} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n} \Rightarrow V_n = \frac{p_N \cdot V_N \cdot T_n}{T_N \cdot p_n} [m^3 \cdot s^{-1}]$$

kde

$p_N$  atmosférický tlak 101325 [Pa]

$V_N^{vl}$  objem spalin vlhkých normálních  $[m^3 \cdot s^{-1}]$

$T_N$  teplota spalin normální 273,25 [K]

$p_n$  skutečný tlak spalin

$V_n$  objem spalin při teplotě  $T_n$

$T_n$  teplota spalin na výstupu

#### Přepočet pro teplotu spalin 250° C

$$V_{n-250} = \frac{101325 \cdot 13,3 \cdot 525,25}{273,25 \cdot 131325} = \underline{\underline{19,72 \text{ m}^3}}$$

#### Přepočet pro teplotu spalin 150° C

$$V_{n-150} = \frac{101325 \cdot 13,3 \cdot 425,25}{273,25 \cdot 131325} = \underline{\underline{15,97 \text{ m}^3}}$$

### 4.2.3 Celkové množství vlhkých spalín na výstupu spalínového výměníku

Spotřeba paliva při požadovaném výkonu hořáku 4050 kW:

$$\dot{m}_O = \underline{\underline{362,7 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}}}$$

Celkové množství spalín při požadovaném výkonu:

$$V_{sp-celk}^V = \dot{m}_O \cdot V_{n-150}$$

$$V_{sp-celk}^V = 362,7 \cdot 15,97 = \underline{\underline{5781,14 \text{ m}_N^3 \cdot \text{h}^{-1}}} = \underline{\underline{1,6 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

### 4.3 Návrh elektrostatického odlučovače

Skříň elektrofiltru má tvaru kvádra ve spodní části se trychtýřovitě zužující do dvou výsypných komor nad každou sekcí.

#### 4.3.1 Výpočet průřezu elektrofiltru

$$S = \frac{V_{sp-celk}^V}{v_{sp-eko}}$$

kde:

$$V_{sp-celk}^V \quad \text{celkové množství spalín} \quad 1,34 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{sp-eko} \quad \text{postupná rychlost v elektrofiltru, volím rychlost} \quad 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

**Průřez elektrofiltru:**

$$S = \frac{1,6}{0,2} = \underline{\underline{8 \text{ m}^3}}$$

### 4.3.2 Výpočet rozměrů skříně dvousekcového elektrofiltru

Průřez elektrofiltru volím čtverec a jeho délka bude 1,8 násobkem jeho strany pro každou sekci.

$$a = \sqrt{S} = \sqrt{8} \doteq \underline{\underline{2,8\ m}}$$

$$l_{eo} = 1,8 \cdot a = 1,8 \cdot 2,8 \doteq \underline{\underline{5\ m}}$$

### 4.3.3 Oklepávací zařízení usměrňovače

Standardní výrobek dodavatele zařízení, předpoklad ZVVZ Milevsko

### 4.3.4 Elektrody

Usazovací elektrody jsou obdélníkové plechy uložené do speciálních ráků v obou sekcích.

Nabíjecí vysokonapěťové elektrody tyčového tvaru napájené z vvn zdroje, budou umístěny do prostoru mezi usazovací elektrody.

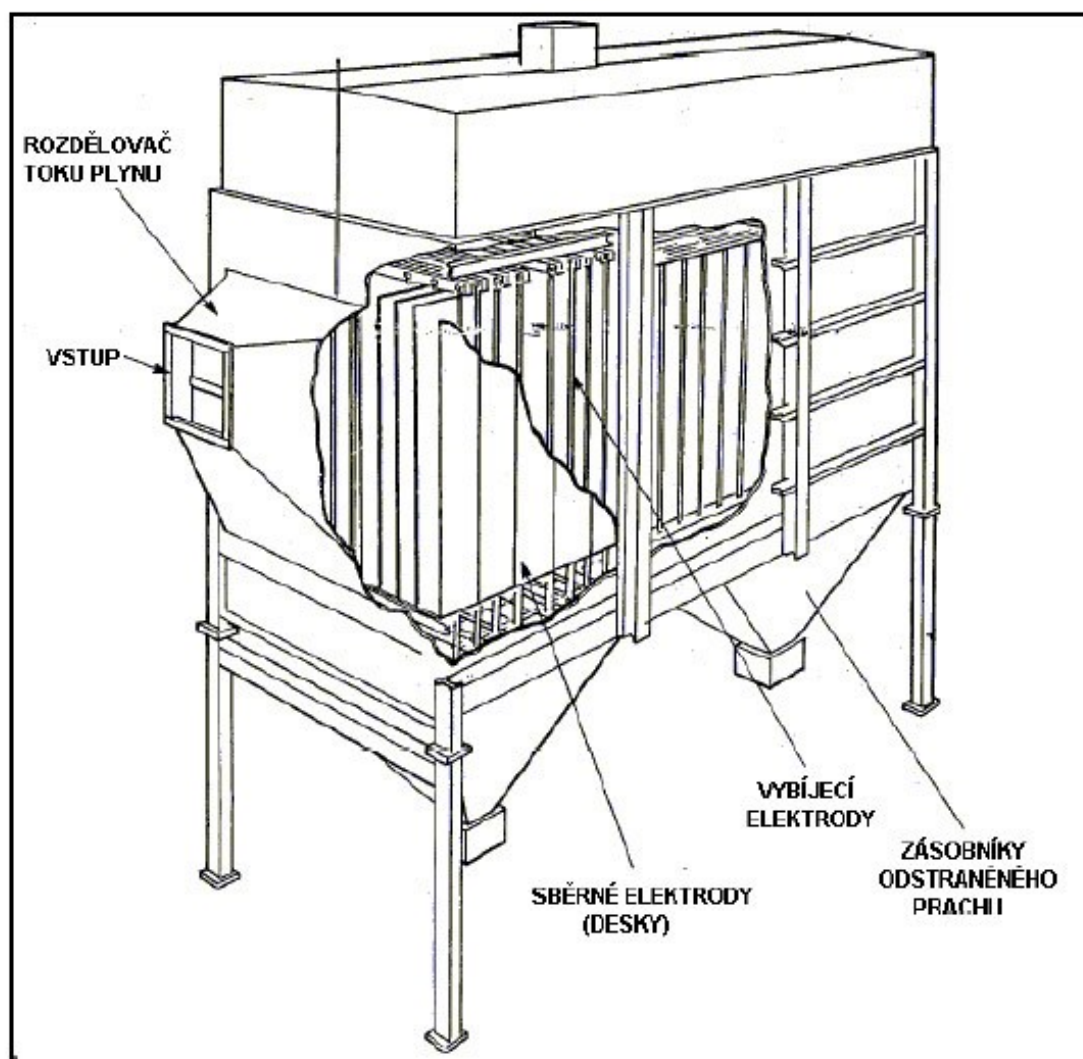
### 4.3.5 Vstupní a výstupní části elektrofiltru

Vstup spalin bude proveden z čela odlučovače přes rozdělovač toku plynu.

Vyčištěné spaliny budou odcházet zadní částí do komína kotelny.

Zachycené tuhé znečišťující látky (popílek) budou odsouvány z obou sekcí do připraveného uzavřeného kontejneru, který se bude periodicky vyměňovat.

Obrázek 6: Navrhovaný elektrostatický odlučovač - řez





### 4.3.6 VVN zdroj pro napájení elektrostatického odlučovače

Pro napájení elektrostatického odlučovače, jsem se rozhodl navrhnout jednoduchý modulový jednosekcový VVN zdroj typové řady ZEOB, osazený regulátorem EMADYN, vyráběný firmou ČKD elektrotechnika a.s, a který je určený pro napájení libovolných elektrostatických odlučovačů komorového provedení se záporným potenciálem ionizační elektrody.

#### Modulový jednosekcový VVN zdroj

Modulový jednosekcový zdroj je vhodný pro malé zdroje exhalací. Obvykle, se jedná o kotelny, které zajišťují vytápění a ohřev teplé užitkové vody, v malých podnicích. Skříně řízení **EVERT BT** jsou vybaveny řízením a ovládáním nejen vvn dílu, ale také technologické výbavy elektrofiltru, zahrnující ohřevy izolátorů elektrod komory a izolátorů výsypky dle teplotního čidla (Pt100), napájení motorů oklepávačů a dopravníků.

Tato výbava u vícesekcového zdroje vzhledem k množství je soustředěna v samostatném rozvaděči včetně komunikace. Skříně řízení jsou standardně v provedení IP54, což umožňuje bezproblémovou instalaci i do prašného prostředí.

**Obrázek 7: Sestava zdroje ZEOB-M 150-500, tvořená vvn dílem typu VDB a skříní řízení typu EVERT 42BT.3**



## **Sestava zdroje ZEOM-B**

Komplet zdroje vvn řady ZEOM-B je tvořen skříní řízení typu EVERT BT, regulující vstupní napájení ze sítě pro vn transformátor s usměrňovačem, umístěné ve vvn dílu typu VDB. VVN díl je standardní, shodný s vvn díly více-sekcových zdrojů.

Skříně řízení EVERT-BT standardní velikosti 800 x 435 x 1900mm (š x h x v) je v provedení IP54.

Výkonový tyristorový bezpotenciálový modul, je montován na chladič přirozeného chlazení, umístěný vně skříně na zadní stěně. Pomocné napájecí a ovládací obvody standardní skříně vícesekcového zdroje jsou doplněny o jistící, spínací a signalizační obvody technologické výbavy odlučovače. Pod průhlednými, uzamykatelnými kryty jsou umístěny samostatné ovládací panely pro vvn zdroj a pro obvody technologické výbavy. Jelikož skříně řízení jsou obvykle umístěny na společném velínu s rozvaděči ostatní elektrovýbavy, není je nutno vybavovat komunikační linkou. Z tohoto důvodu jsou naopak vybaveny samostatnými měřicími digitálními přístroji pro kontrolu všech hlavních údajů, (teplot a tlaků, provozu, poruchy).

Řízení tyristorů a komunikaci s obsluhou zajišťuje mikroprocesorový regulátor EMADYN, umístěný rovněž ve skříní.

### **Osazení skříně řízení EVERT 42BT.3**

Obvody technologické výbavy elektrofiltru zahrnují jistící, spínací a ovládací prvky pro:

- motory oklepu ionizačních a usazovacích elektrod
- motory rotačního a šnekového podavače (event. spirálového podavače)
- regulaci ohřevu izolátorů ionizačních a usazovacích elektrod dle nastavené teploty
- regulaci ohřevu výsypky dle nastavené teploty
- měření teploty plynů před a za komorou odlučovače
- měření podtlaku v komoře odlučovače
- signalizaci přeplnění výsypky.

## 5 Návrh spalínového ventilátoru

### 5.1 Výpočet průměru potrubí odcházejících spalin z elektrostatického odlučovače

Výpočet průřezu potrubí:

$$S = \frac{V_{sp-celk}^V}{w_{sp}}$$

kde

$w_{sp}$  rychlost spalin na výstupu z elektrostatického odlučovače - volím  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$S = \frac{1,6}{10} = \underline{\underline{0,16 \text{ m}^3}}$$

Výpočet průměru potrubí:

$$S = \pi \cdot r^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0,16}{\pi}} = \underline{\underline{0,226 \text{ m}}}$$

## 5.2 Výpočet tlakové ztráty spalínového traktu

Celková ztráta se spočítá jako součet ztrát třením a ztrát místních dle vztahů:

Tlaková ztráta třením:

$$p_{ZT-t,i} = \lambda \cdot \frac{L_i}{d_i} \cdot \frac{w_{sp-i}^2}{2} \cdot \rho_{sp-i}$$

Tlaková ztráta místními odpory:

$$p_{ZT-m,i} = \xi \cdot \frac{w_{sp-i}^2}{2} \cdot \rho_{sp-i}$$

### 5.2.1 Výpočet tlakové ztráty v potrubí do spalovacího výměníku

Spaliny proudí do spalínového výměníku ocelovým potrubím o vnitřním průměru 400 mm a teplotě 250 °C. Potrubí je přímé o délce  $L_1 = 1700$  mm. Ve výměníku mění směr o 90°.

**Určení Reynoldsova čísla proudění spalín:**

$$Re = \frac{w \cdot d_{ch}}{\nu} = \frac{10,67 \cdot 0,4}{14 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{266750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

**Výpočet třecího součinitele  $\lambda$  (podle Drewa pro  $Re < 10^6$ ):**

$$\lambda = 0,0056 + 0,5 \cdot Re^{-0,32} = 0,0056 + 0,5 \cdot 266750^{-0,32} = \underline{\underline{0,015}}$$

Hodnoty dosazované do vztahu pro výpočet tlakové ztráty v potrubí:

Rychlost spalín	$w_{sp} = 10,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
-----------------	--

Součinitel ztrát třením	$\lambda = 0,025$
-------------------------	-------------------

Délka	$L_1 = 1,7 \text{ m}$
-------	-----------------------

Průměr potrubí	$d = 0,4 \text{ m}$
----------------	---------------------

Hustota spalín (pro $t = 250^\circ\text{C}$ )	$\rho_{sp} = 0,87 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
---	---

$$p_{ZT-t} = 0,015 \cdot \frac{1,7}{0,4} \cdot \frac{10,67^2}{2} \cdot 0,87 = \underline{\underline{3,16 \text{ Pa}}}$$

- místní tlaková ztráta

Součinitel místní ztráty

$$\xi = 1$$

$$p_{ZT-m} = 1 \cdot \frac{10,67^2}{2} \cdot 0,87 = \underline{\underline{49,52 \text{ Pa}}}$$

**Celková ztráta v tomto úseku:**

$$p_{ZT-1} = \sum p_{ZT-t} + \sum p_{ZT-m} = 3,16 + 49,52 = \underline{\underline{52,68 \text{ Pa}}}$$

### 5.2.2 Výpočet tlakové ztráty ve spalinovém výměníku

Hodnoty dosazované do vztahu pro výpočet tlakové ztráty ve spalinovém výměníku:

**Určení Reynoldsova čísla proudění spalin:**

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_{ch}}{\nu} = \frac{4,06 \cdot 0,04}{14 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{10150 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

**Výpočet třecího součinitele  $\lambda$  (podle Blasiusu pro  $\text{Re} < 8 \cdot 10^4$ ):**

$$\lambda = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25} = 0,3164 \cdot 10150^{-0,25} = \underline{\underline{0,0315}}$$

Rychlost spalin

$$w_{sp} = 4,06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Součinitel ztrát třením

$$\underline{\lambda} = 0,0315$$

Délka

$$L_1 = 2 \text{ m}$$

Průměr trubky

$$d = 0,04 \text{ m}$$

Počet trubek

$$n = 263$$

Hustota spalin (pro  $t = 200^\circ\text{C}$ )

$$\rho_{sp} = 0,97 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$p_{ZT-t} = 0,0315 \cdot \frac{2}{0,04} \cdot \frac{4,06^2}{2} \cdot 0,97 \cdot 263 = \underline{\underline{3311,54 \text{ Pa}}}$$

- místní tlaková ztráta

Ostrý vstup do trubky

$$\xi = 0,5$$

Ostrý výstup z trubky

$$\xi = 1$$

Součinitel místní ztráty

$$\xi = 1,5$$

$$p_{ZT-m} = 1,5 \cdot \frac{4,06^2}{2} \cdot 0,97 \cdot 263 = \underline{\underline{3153,85 \text{ Pa}}}$$

**Celková ztráta v tomto úseku:**

$$p_{ZT-2} = \sum p_{ZT-t} + \sum p_{ZT-m} = 3311,54 + 3153,85 = \underline{\underline{6465,39 \text{ Pa}}}$$

### 5.2.3 Výpočet tlakové ztráty v potrubí výměníku - odlučovač

Spaliny proudí ze spalínového výměníku ocelovým potrubím o vnitřním průměru 400 mm a teplotě  $150^\circ\text{C}$ . Potrubí je přímé o délce  $L_1 = 4600 \text{ mm}$ . Proud spaliny mění dvakrát směr, jednou o  $60^\circ$  a dvakrát o  $90^\circ$ .

**Určení Reynoldsova čísla proudění spalin:**

$$\text{Re} = \frac{w \cdot d_{ch}}{\nu} = \frac{10,67 \cdot 0,4}{14 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{266750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

**Výpočet třecího součinitele  $\lambda$  (podle Drewa pro  $Re < 10^6$ ):**

$$\lambda = 0,0056 + 0,5 \cdot Re^{-0,32} = 0,0056 + 0,5 \cdot 266750^{-0,32} = \underline{\underline{0,015}}$$

Rychlost spalin

$$w_{sp} = 10,67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Součinitel ztrát třením

$$\underline{\lambda} = 0,015$$

Délka

$$L_1 = 4,6 \text{ m}$$

Průměr potrubí

$$d = 0,4 \text{ m}$$

Hustota spalin (pro  $t = 150^\circ\text{C}$ )

$$\rho_{sp} = 1,08 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$p_{ZT-t} = 0,015 \cdot \frac{4,6}{0,4} \cdot \frac{10,67^2}{2} \cdot 1,08 = \underline{\underline{10,61 \text{ Pa}}}$$

- místní tlaková ztráta

Součinitel místní ztráty (koleno  $90^\circ$  - 2x)

$$\xi = 1,98$$

Součinitel místní ztráty (koleno  $120^\circ$ )

$$\xi = 0,72$$

$$p_{ZT-m} = 2,7 \cdot \frac{10,67^2}{2} \cdot 0,87 = \underline{\underline{133,72 \text{ Pa}}}$$

**Celková ztráta v tomto úseku:**

$$p_{ZT-3} = \sum p_{ZT-t} + \sum p_{ZT-m} = 10,61 + 133,72 = \underline{\underline{144,33 \text{ Pa}}}$$

## 5.2.4 Výpočet tlakové ztráty elektrostatického odlučovače

Hodnoty dosazované do vztahu pro výpočet tlakové ztráty v odlučovači:

**Určení Reynoldsova čísla proudění spalin:**

$$Re = \frac{w \cdot d_{ch}}{\nu} = \frac{0,2 \cdot 2,86}{14 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{35750 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}}}$$

**Výpočet třecího součinitele  $\lambda$  (podle Blasiusu pro  $Re < 8 \cdot 10^4$ ):**

$$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-0,25} = 0,3164 \cdot 35750^{-0,25} = \underline{\underline{0,023}}$$

Rychlost spalin

$$w_{sp} = 0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Součinitel ztrát třením

$$\lambda = 0,023$$

Délka

$$L_1 = 5 \text{ m}$$

Char. rozměr odlučovače

$$d_{ch} = 2,86 \text{ m}$$

Hustota spalin (pro  $t = 150^\circ\text{C}$ )

$$\rho_{sp} = 1,08 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$p_{ZT-t} = 0,023 \cdot \frac{5}{2,86} \cdot \frac{0,2^2}{2} \cdot 1,08 = \underline{\underline{0,0008 \text{ Pa}}}$$

- místní tlaková ztráta

Tlaková ztráta změnou průřezu vstupu

$$\xi = 1$$

Tlaková ztráta změnou průřezu výstupu

$$\xi = 0,5$$

Tlaková ztráta daná výrobcem

$$p_{ZT-vyr} = 145 \text{ Pa}$$

Součinitel místní ztráty

$$\xi = 1,5$$

$$p_{ZT-m} = 1,5 \cdot \frac{0,2^2}{2} \cdot 1,08 = \underline{\underline{0,054 \text{ Pa}}}$$

**Celková ztráta v tomto úseku:**

$$p_{ZT-4} = \sum p_{ZT-t} + \sum p_{ZT-m} + p_{ZT-vyr} = 0,0008 + 0,054 + 145 = \underline{\underline{145,055 \text{ Pa}}}$$



### 5.2.5 Výpočet tlakové ztráty v potrubí z elektrostatického odlučovače do komína

Spaliny proudí z odlučovače ocelovým potrubím o vnitřním průměru 226 mm a teplotě 150 °C. Potrubí je přímé o délce  $L_1 = 2000$  mm.

**Určení Reynoldsova čísla proudění spalín:**

$$Re = \frac{w \cdot d_{ch}}{\nu} = \frac{10 \cdot 0,226}{14 \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{141250 \, m^3 \cdot s^{-1}}}$$

**Výpočet třecího součinitele  $\lambda$  (podle Drewa pro  $Re < 10^6$ ):**

$$\lambda = 0,0056 + 0,5 \cdot Re^{-0,32} = 0,0056 + 0,5 \cdot 141250^{-0,32} = \underline{\underline{0,017}}$$

Rychlost spalín

$$w_{sp} = 10 \, m \cdot s^{-1}$$

Součinitel ztrát třením

$$\underline{\lambda} = 0,017$$

Délka

$$L_1 = 2 \, m$$

Průměr potrubí

$$d = 0,226 \, m$$

Hustota spalín (pro  $t = 150^\circ\text{C}$ )

$$\rho_{sp} = 1,08 \, kg \cdot m^{-3}$$

$$p_{ZT-t} = 0,017 \cdot \frac{2}{0,226} \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 1,08 = \underline{\underline{8,12 \, Pa}}$$

**Celková ztráta v tomto úseku:**

$$p_{ZT-5} = \sum p_{ZT-t} + \sum p_{ZT-m} = 8,12 + 0 = \underline{\underline{8,12 \, Pa}}$$

### 5.2.6 Výpočet tlakové ztráty komína

Spaliny proudí komínem ocelovým potrubím o vnitřním průměru 226 mm a teplotě 150 °C. Potrubí je přímé o délce  $L_1 = 8000$  mm. Na vstupu do komína mění spaliny směr o 90°.

Pro komín v plechovém provedení se stanovuje  $\lambda = 0,03$

Rychlost spalin  $w_{sp} = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Součinitel ztrát třením  $\lambda = 0,03$

Délka  $L_1 = 8 \text{ m}$

Průměr potrubí  $d = 0,226 \text{ m}$

Hustota spalin (pro  $t = 150^\circ\text{C}$ )  $\rho_{sp} = 1,08 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

$$p_{ZT-t} = 0,03 \cdot \frac{8}{0,226} \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 1,08 = \underline{\underline{57,35 \text{ Pa}}}$$

- místní tlaková ztráta

Tlaková ztráta změnou průřezu vstupu  $\xi = 1$

Tlaková ztráta změnou průřezu výstupu  $\xi = 1$

Součinitel místní ztráty  $\xi = 0,99$

$$p_{ZT-m} = 2,99 \cdot \frac{10^2}{2} \cdot 1,08 = \underline{\underline{161,46 \text{ Pa}}}$$

**Celková ztráta v tomto úseku:**

$$p_{ZT-6} = \sum p_{ZT-t} + \sum p_{ZT-m} = 57,35 + 161,46 = \underline{\underline{218,81 \text{ Pa}}}$$

### 5.3 Výběr spalínového ventilátoru

Pro návrh spalínového ventilátoru je třeba provést výpočet celkové tlakové ztráty spalínového traktu. Tato je dána součtem celkových tlakových ztrát ve výše uvedených trasách.

Celková ztráta spalínového traktu:

$$p_{ZT-celk} = \sum p_{ZT-celk,i}$$

$$p_{ZT-celk} = 52,68 + 6465,39 + 144,33 + 145,055 + 8,12 + 218,81 = \underline{\underline{7034,385 \text{ Pa}}}$$

K vyvození podtlaku ve spalínovém traktu, navrhuji použít spalínový ventilátor typu RVI od výrobce KLIMA a.s. Prachatice. Jedná se o vysokotlaký radiální ventilátor pro dopravu neabrazivních vzdušin o teplotách od -20 do 250 °C. Ventilátor musí zaručit dopravu spalín o průtokovém objemu  $1,34 \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1}$  při tlakové ztrátě systému 7034,385 Pa. Pro tyto parametry je vhodné použít vysokotlaký radiální ventilátor RVI 400-IN-P180° PP 3340.2 s jmenovitými otáčkami  $2900 \text{ min}^{-1}$ .

## 6 Technické a ekonomické zhodnocení navrhovaných úprav

Použitím výměníku spalin došlo ke snížení teploty odcházejících spalin z 250 °C na 150 °C.

Výpočet vlivu na účinnost kotle provedeme porovnáním největšího činitele ztrát, a to ztráty tepla spalinami tzv. komínové ztráty.

$$\xi_K = (100 - \xi_C) \cdot \frac{V_{PV} \cdot c_{PV} \cdot (t_K - t_{VZ})}{q_i}$$

kde:

$\xi_K$  ztráta komínová (ztráta citelným teplem spalin)

$\xi_C$  ztráta chemickým nedopalem

$V_{PV}$  objem vlhkých spalin (při normálních podmínkách) vzniklých z 1 kg paliva [ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ,  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$c_{PV}$  střední měrná tepelná kapacita vlhkých spalin při teplotě  $t_K$  [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]

$t_K$  teplota spalin odcházejících z ekonomizéru [°C]

$t_{VZ}$  teplota vzduchu vstupujícího do kotle [°C]

$q_i$  teplo přivedené do kotle spálením 1 kg paliva [ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

Procentuelní zastoupení složek ve spalinách:

$$\varpi_{CO_2} = 11,79 \%$$

$$\varpi_{SO_2} = 0,09 \%$$

$$\varpi_{N_2} = 74,29 \%$$

$$\varpi_{O_2} = 2,03 \%$$

$$\varpi_{H_2O} = 11,8 \%$$

## 6.1 Výpočet komínové ztráty pro teplotu spalin 250°C

Výpočet měrné tepelné kapacity spalin při teplotě spalin 250°C

$$c_{spst} = \sum c_p \cdot \frac{\%obj}{100} \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

kde:

$c_p$  – měrná tepelná kapacita jednotlivých prvků za střední teploty spalin

$\%obj$  – procentuelní zastoupení prvku ve spalinách

$$cp_{O_2} = 1,3644 \cdot \frac{2,03}{100} = \underline{0,0277 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{N_2} = 1,3342 \cdot \frac{74,29}{100} = \underline{0,9912 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{CO_2} = 1,8245 \cdot \frac{11,79}{100} = \underline{0,2151 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{SO_2} = 1,9719 \cdot \frac{0,09}{100} = \underline{0,0018 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{H_2O} = 1,5326 \cdot \frac{11,8}{100} = \underline{0,1808 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$c_{spst} = \sum c_p = \underline{\underline{1,4166 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

Komínová ztráta při teplotě spalin 250°C

$$\xi_{K1} = (100 - 0) \cdot \frac{13,3 \cdot 1,4166 \cdot (250 - 120)}{42700} = \underline{\underline{5,73}}$$

## 6.2 Výpočet komínové ztráty pro teplotu spalin 150°C

Výpočet měrné tepelné kapacity spalin při teplotě spalin 150°C

$$c_{spst} = \sum c_p \cdot \frac{\%obj}{100} \quad [kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$$

kde:

$c_p$  – měrná tepelná kapacita jednotlivých prvků za střední teploty spalin

$\%obj$  – procentuelní zastoupení prvku ve spalinách

$$cp_{O_2} = 1,3283 \cdot \frac{2,03}{100} = \underline{0,027 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{N_2} = 1,2973 \cdot \frac{74,29}{100} = \underline{0,9638 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{CO_2} = 1,743 \cdot \frac{11,79}{100} = \underline{0,2055 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{SO_2} = 1,9029 \cdot \frac{0,09}{100} = \underline{0,0017 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$cp_{H_2O} = 1,5145 \cdot \frac{11,8}{100} = \underline{0,1787 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}$$

$$c_{spst} = \sum c_p = \underline{\underline{1,3767 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}}}$$

Komínová ztráta při teplotě spalin 150°C

$$\xi_{K2} = (100 - 0) \cdot \frac{13,3 \cdot 1,3767 \cdot (150 - 120)}{42700} = \underline{\underline{1,29}}$$

### Zvýšení účinnosti kotelny po ekonomizaci:

$$\Delta \xi_K = \xi_{K1} - \xi_{K2} = 5,73 - 1,29 = \underline{\underline{4,44}}$$

## 6.3 Výpočet množství ohřáté vody (95°C) za rok provozu

Při výpočtu budu vycházet z dat v provozním deníku kotelny a stanovím průměrnou roční hodnotu provozu kotelny.

Tabulka 7: Provozní hodiny K1 a K2

Provozní hodiny kotlů VADS, a.s. (AWT VADS a.s.)				
rok	kotel K1	kotel K2	$\Sigma$	poznámka
2006	526	446	972	od června
2007	1227	969	2196	
2008	941	877	1818	
2009	884	817	1701	
2010	1009	922	1931	
<b>Roční průměr</b>	<b>1000,8</b>	<b>879,5</b>	<b>1880,3</b>	

$$V_{w-95} = 3600 \cdot M_w \cdot \tau_{PH} \left[ m^3 \cdot rok^{-1} \right]$$

kde:

Objemový tok vody

$$M_w = 0,0006 \, m^3 \cdot s^{-1}$$

Průměrná doba provozu kotlů

$$\tau_{PH} = 1880 \, h \cdot rok^{-1}$$

$$V_{w-95} = 3600 \cdot 0,0006 \cdot 1800 = \underline{\underline{4060,8 \doteq 4061 \, m^3 \cdot rok^{-1}}}$$

## 6.4 Výpočet množství odloučeného popílku

Naměřené emisní hodnoty kotlů (viz Příloha č.5a,b)

**Tabulka 7: Emisní parametry K1**

Emisní parametry – kotel 1						
Parametr	Vztažné podmínky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TZL	jednotka
Měřená koncentrace	<u>A</u> B C	746	346	< 12	55	mg.m <sup>-3</sup>
Objemový průtok		4200				m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
Průměrná teplota plynu		230,6				°C
Průměrný tlak plynu v kouřovodu		99200				Pa
Průměrná vlhkost plynu		7,9				%
Průměrná koncentrace kyslíku		5,3				%
Sledovaný výrobní parametr Výroba páry		3,1				t.h <sup>-1</sup>

**Tabulka 8: Emisní parametry K2**

Emisní parametry – kotel 2						
Parametr	Vztažné podmínky	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	TZL	jednotka
Měřená koncentrace	<u>A</u> B C	832	372	< 9	55	mg.m <sup>-3</sup>
Objemový průtok		4100				m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>
Průměrná teplota plynu		242,5				°C
Průměrný tlak plynu v kouřovodu		99400				Pa
Průměrná vlhkost plynu		8				%
Průměrná koncentrace kyslíku		5,2				%
Sledovaný výrobní parametr Výroba páry		3,2				t.h <sup>-1</sup>



### 6.4.1 Výpočet množství popílku na vstupu do filtru

$$m_p = m_{p-mer} \cdot V_{sp-celk}^V \left[ mg \cdot m^{-3} \cdot s^{-1} \right]$$

kde:

Naměřená hodnota koncentrace popílku

$$55 \text{ mg} \cdot m^{-3}$$

Množství spalin v normálním stavu

$$V_{sp-celk}^V = 1,34 \text{ m}_N^3 \cdot s^{-1}$$

Množství popílku na vstupu do filtru:

$$m_p = 55 \cdot 1,34 = \underline{\underline{73,7 \text{ mg} \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}}}$$

### 6.4.2 Výpočet množství zachyceného popílku v elektrofiltru

$$m_{p-odl} = \frac{m_p}{100} \cdot \xi_F \cdot 3600 \left[ kg \cdot h^{-1} \right]$$

kde:

Účinnost filtru

$$\eta_F = 0,99$$

Množství zachyceného popílku za hodinu provozu kotelny

$$m_{p-odl} = \frac{73,7 \cdot 0,99 \cdot 3600}{10^6} = \underline{\underline{0,2627 \text{ kg} \cdot h^{-1}}}$$

Množství zachyceného popílku za rok provozu

$$m_{p-odl,rok} = m_{p-odl} \cdot \tau_{PH,rok}$$

kde:

Roční průměr provozu kotelny

$$\tau_{PH,rok} = 1880 \text{ h}$$

$$m_{p-odl,rok} = 0,2627 \cdot 1880 = \underline{\underline{493,9 \text{ kg} \cdot \text{rok}^{-1}}}$$

### 6.4.3 Výpočet kapacity kontejneru na odloučený popílek

$$C_{kon} = \frac{\rho \cdot V_{kon}}{m_{p-odl}} [h]$$

kde:

Měrná hustota popílku

$$\rho = 600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Objem kontejneru

$$V_{kon} = 0,5 \text{ m}^3$$

- Výpočet kapacity kontejneru

$$C_{kon} = \frac{600 \cdot 0,5}{0,2627} = \underline{\underline{1142 \text{ hodin}}}$$

Po ekonomizaci došlo k získání 4061 m<sup>3</sup> vody o teplotě 95°C pro technologické účely provozu Čištění, při zachování množství vyrobené páry a tepla. Nedošlo ke zvýšení spotřeby paliva, které by se pro ohřev této vody, spálilo. Proto nedochází ani ke zvýšení hodin provozu kotelny, množství vyprodukovaných spalin, a s tím i zvýšení produkce SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a TZL .

Instalací elektrofiltru došlo k snížení tuhých emisí o 352,8 kg ročně, což jistě svou měrou přispěje k lepší čistotě ovzduší a menšímu dopadu na životní prostředí.

## **Závěr**

Cílem této diplomové práce bylo zekonomizovat provoz kotelny společnosti VADS a.s. spalující odpadní zbytky těžkých olejů po vyčištění cisteren. Při původním stavu vycházely spaliny z komína kotelny o teplotě 250 °C a emisní limity vzhledem k tomu, že palivo těžký topný olej VADS se vesměs pohybuje na hraně schválené kvality, jsou vypouštěné emise na horní hranici povolených emisních hodnot.

Cestou k ekonomizaci byl zvolen návrh spalínového výměníku, který měl snížit teplotu vypouštěných spalin z kotelny na hodnotu 150 °C. Získaným teplem bude ohřívána technologická voda pro účely provozu dezinfekční stanice.

Pro řešení nepříznivé situace přesahování povolených emisních limitů jsem navrhl k čištění spalin použít jednoduchý elektrostatický odlučovač, pro jeho vysokou účinnost při odstraňování i malých tuhých částic.

Výpočty bylo dokázáno, že navrhované úpravy splní požadavky společnosti na získání požadovaného množství teplé vody pro technologické účely při zachování množství vyrobené páry a dojde ke snížení obsahu TZL ve spalinách, aby kotelna vyhověla limitům emisních hodnot a znamenala co nejmenší zátěž pro životní prostředí.

## **Seznam použité literatury**

### **a) knižní publikace**

- [1] OBROUČKA K., Termické zneškodňování odpadů, 1. vyd. Ostrava 1997, VŠB TU Ostrava
- [2] JUCHELKOVÁ D., Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi, 1. vyd. Ostrava 2005, VŠB TU Ostrava
- [3] BÁLEK, Tepelně technické tabulky a diagramy, vyd. 1984, VŠB TU Ostrava
- [4] KOLAT P., Přenos tepla a hmoty, vyd. 1986, VŠB TU Ostrava
- [5] ČERNÝ V. a kol, Parní kotle a spalovací zařízení, vyd. 1975, SNTL Praha
- [6] DLOUHÝ T., Výpočty kotlů a spalinových výměníků, vyd. 2005, ČVUT Praha
- [3] BLAHOŽ V., LAPČÍK V., Návod do cvičení z termomechaniky, vyd. 1986, VŠB TU Ostrava

### **b) legislativa**

Směrnice Rady 75/439/EHS nakládání s odpadními oleji  
Směrnice Rady 75/442/EHS o odpadech  
Nařízení vlády č. 146/2007 Sb

### **c) internetové zdroje**

Oficiální stránky MŽP  
<http://www.vads.cz>  
<http://www.cacs.cz>

### **d) interní materiály**

Provozní řád VADS a.s. Bohumín  
Energetický audit provedený firmou Energo – Steel s r.o.

## **Přílohy**

Příloha č. 1: Schéma materiálových toků olejového hospodářství

Příloha č. 2: Blokové schéma nakládání s nebezpečnými odpady

Příloha č. 2a: Dílčí schéma úpravy I

Příloha č. 2b: Dílčí schéma úpravy II

Příloha č. 2c: Dílčí schéma úpravy III

Příloha č. 2d: Dílčí schéma úpravy odpadů

Příloha č. 3: Ropný produkt pro technologické účely

Příloha č. 4: Certifikát a specifikace paliva

Příloha č. 5a: Měření K1

Příloha č. 5b: Měření K2

Příloha č.6: Výkres spalovacího výměníku DP-SV – 01

Příloha č.7: Výkres kotelny DP- KO - 02